

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2000-137740
(P2000-137740A)

(43)公開日 平成12年5月16日(2000.5.16)

(51)Int.Cl.⁷

G 0 6 F 17/50

識別記号

F I

G 0 6 F 15/60

テマコード*(参考)

6 0 4 H

審査請求 未請求 請求項の数7 O L (全 13 頁)

(21)出願番号 特願平11-234687

(22)出願日 平成11年8月20日(1999.8.20)

(31)優先権主張番号 特願平10-238900

(32)優先日 平成10年8月25日(1998.8.25)

(33)優先権主張国 日本 (J P)

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72)発明者 近 藤 浩 一

神奈川県川崎市幸区柳町70番地 株式会社

東芝柳町工場内

(74)代理人 100064285

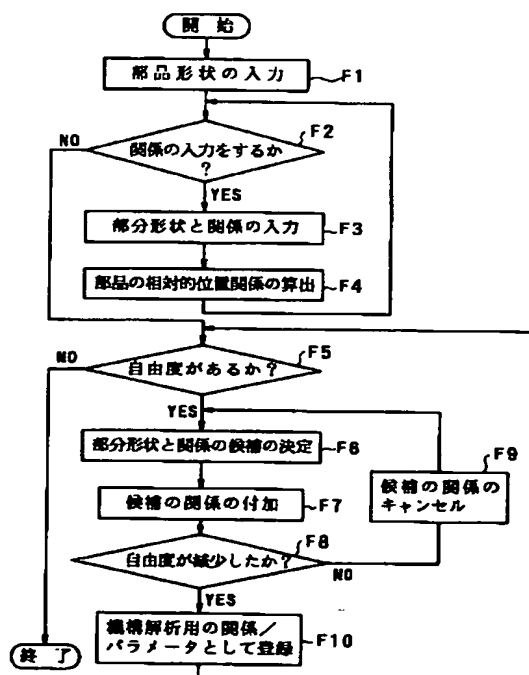
弁理士 佐藤 一雄 (外3名)

(54)【発明の名称】 アセンブリモデル作成方法およびアセンブリモデル作成処理プログラムを記録した記録媒体

(57)【要約】

【課題】 機構解析や障害物回避動作計画に用いることが可能なアセンブリモデルを得ることを目的とする。

【解決手段】 複数の部品の各々の部分形状と、これらの部分形状の間の拘束関係を入力し、記憶装置に記憶するステップと、前記記憶装置に記憶されている前記部分形状および前記拘束関係に基づいて前記複数の部品の相対的位置関係を算出するステップと、前記算出された相対的位置関係に基づいてアセンブリモデルを作成するステップと、前記作成されたアセンブリモデルに自由度があるか否かを判定するステップと、自由度があると判定された場合に、この自由度を減らすために前記部分形状の間に付加すべき拘束関係を決定するステップと、を備えたことを特徴とする。



1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】複数の部品の各々の部分形状と、これらの部分形状の間の拘束関係を入力し、記憶装置に記憶するステップと、

前記記憶装置に記憶されている前記部分形状および前記拘束関係に基づいてアセンブリモデルとなる前記複数の部品の相対的位置関係を算出するステップと、

前記作成されたアセンブリモデルに自由度があるか否かを判定するステップと、

自由度があると判定された場合に、この自由度を減らすために前記部分形状の間に付加すべき拘束関係を決定するステップと、

を備えたことを特徴とするアセンブリモデル作成方法。

【請求項 2】前記決定された拘束関係を前記アセンブリモデルに付加し、自由度が減少したか否かを判定するステップと、

自由度が減少しないと判定された場合には、前記付加した拘束関係を削除した後、前記拘束関係を決定するステップに戻るステップと、

自由度が減少した場合には前記付加した拘束関係に付随するパラメータを登録した後、前記自由度があるか否かを判定するステップと、

を更に備えたことを特徴とする請求項 1 記載のアセンブリモデル作成方法。

【請求項 3】前記登録されたパラメータはアセンブリモデルの部品の運動を規定するパラメータとして利用されることを特徴とする請求項 1 または 2 記載のアセンブリモデル作成方法。

【請求項 4】前記拘束関係を決定するステップは、前記アセンブリモデルの構成要素であるすべての部品についての部分形状を列挙するステップと、

前記部品間の部分形状と、部分形状間の拘束関係との組み合わせを列挙するステップと、

前記列挙された組み合わせを順序付けるステップと、

前記順序付けられた順序に従って拘束関係を決定するステップと、

を備えたことを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載のアセンブリモデル作成方法。

【請求項 5】前記部品間の部分形状と、この部分形状間の拘束関係との組み合わせが複数組第 2 の記憶装置に記憶されており、

前記拘束関係を決定するステップは、前記第 2 の記憶装置に記憶されている複数組の中から 1 つの組を選択し、この選択された組の拘束関係を付加すべき拘束関係として決定することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載のアセンブリモデル作成方法。

【請求項 6】前記複数の組は順序付けられており、前記拘束関係を決定するステップは、順序付けられた順序に従って複数組の中から 1 つの組を順次選択することを特徴とする請求項 5 記載のアセンブリモデル作成方法。

2

【請求項 7】記憶装置に記憶されている、複数の部品の各々の部分形状と、これらの部分形状間の拘束関係とに基づいて前記複数の部品の相対的位置関係を算出する手順と、

前記算出された相対的位置関係に基づいてアセンブリモデルを作成する手順と、

前記作成されたアセンブリモデルに自由度があるか否かを判定する手順と、

自由度があると判定された場合に、この自由度を減らすために前記部分形状の間に付加すべき拘束関係を決定する手順と、

を、コンピュータに実行させるアセンブリモデル作成処理プログラムを記録したコンピュータ読取り可能な記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明はアセンブリモデル作成方法およびアセンブリモデル作成処理プログラムを記録した記録媒体に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、コンピュータ支援設計（Computer Aided Design（以下、CADと云う））システムを用いて、2次元形状または3次元形状の複数の部品のアセンブリモデルを作成する方法が知られている。この従来のアセンブリモデル作成方法は、複数の部品の形状データをCADシステムを用いて入力するとともに、形状特徴と呼ばれるこれら部品の部分形状の間に、平行、直角、一致、距離、角度、同心などの幾何学的な拘束関係を入力し、これらの形状データ（部分形状）および拘束関係に基づいて部品間の位置関係をコンピュータソフトウェアによって自動的に算出し、アセンブリのモデルを作成するものである。

【0003】一方、機構解析を行う目的で、自由度をもつ部分を例えば関節として入力し、機構パラメータ（例えば関節角）の変化や、上記関節に対する駆動力により、機構の運動などのシミュレーションを行うソフトウェアが知られている。

【0004】また、機構の持つ自由度と、機構の位置・姿勢を一意に決めるパラメータの組みを入力することにより、予め定義された周囲の障害物との干渉を回避して、与えられた初期位置から目標位置までの移動経路を自動的に算出する障害物回避動作計画が知られている。

【0005】従来のアセンブリモデル作成方法は、作成した機構が自由度を持っているかどうかをチェックする機能や、自由度を持つ部品をディスプレイ画面の上で指定し、移動方向を指定すると、拘束関係を満たしたまま指定された移動方向に最も近い動きをさせる機能を備えている。

【0006】しかし、これらの機能はアセンブリ中の部品を移動させた後に、部品の位置をずらして拘束を満た

3

すようにすることによって実現される。

【0007】このため従来のアセンブリ作成方法は、どのようなパラメータを機構パラメータとして指定すれば、機構の運動を一意に記述できるかという情報、すなわち、機構解析や障害物回避動作計画に必要な情報を提供することができない。

【0008】したがって、機構解析や障害物回避動作計画を行う際には、従来のアセンブリモデル作成方法によって得られるアセンブリモデルのデータが存在する場合であっても、改めてどの部分を関節として入力するかを人手により検討し、関節として設定された数に過不足が無いかどうかを人手によりチェックし、これらの関節の機構パラメータの零点の位置指定を人手により行うなどの必要がある。このような作業は複雑な機構になればなるほど困難な作業となり、多くの場合、機構解析を実際に一度実行することによって関節の設定ミスを探すなどの手間が必要になる。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】以上述べたように、従来のアセンブリモデル作成方法によって得られるアセンブリモデルのデータは直接に機構解析や障害物回避動作計画に利用することができず、機構解析や障害物回避動作計画に用いる際には非常に手間がかかるという問題があった。

【0010】本発明は上記事情を考慮してなされたものであって、機構解析や障害物回避動作計画に用いることが可能なアセンブリモデルを作成することのできるアセンブリモデル作成方法を得ることを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために本発明は、複数の部品の各々の部分形状と、これらの部分形状の間の拘束関係を入力し、記憶装置に記憶するステップと、前記記憶装置に記憶されている前記部分形状および前記拘束関係に基づいてアセンブリモデルとなる前記複数の部品の相対的位置関係を算出するステップと、前記作成されたアセンブリモデルに自由度があるか否かを判定するステップと、自由度があると判定された場合に、この自由度を減らすために前記部分形状の間に付加すべき拘束関係を決定するステップとを備えたアセンブリモデル作成方法とした。

【0012】ここで、前記決定された拘束関係を前記アセンブリモデルに付加し、自由度が減少したか否かを判定するステップと、自由度が減少しないと判定された場合には、前記付加した拘束関係を削除した後、前記拘束関係を決定するステップに戻るステップと、自由度が減少した場合には前記付加した拘束関係に付随するパラメータを登録した後、前記自由度があるか否かを判定するステップとを更に備えてもよい。

【0013】また、前記登録されたパラメータはアセンブリモデルの部品の運動を規定するパラメータとして利

4

用されてもよい。

【0014】また、前記拘束関係を決定するステップは、前記アセンブリモデルの構成要素であるすべての部品についての部分形状を列挙するステップと、前記部品間の部分形状と、部分形状間の拘束関係との組み合わせを列挙するステップと、前記列挙された組み合わせを順序付けるステップと、前記順序付けられた順序に従って拘束関係を決定するステップとを備えてもよい。

【0015】また、前記部品間の部分形状と、この部分形状間の拘束関係との組み合わせが複数組第2の記憶装置に記憶されており、前記拘束関係を決定するステップは、前記第2の記憶装置に記憶されている複数組の中から1つの組を選択し、この選択された組の拘束関係を付加すべき拘束関係として決定するように構成してもよい。

【0016】また、前記複数の組は順序付けられており、前記拘束関係を決定するステップは、順序付けられた順序に従って複数組の中から1つの組を順次選択するように構成してもよい。

【0017】さらに本発明は、記憶装置に記憶されている、複数の部品の各々の部分形状と、これらの部分形状間の拘束関係とに基づいて前記複数の部品の相対的位置関係を算出する手順と、前記算出された相対的位置関係に基づいてアセンブリモデルを作成する手順と、前記作成されたアセンブリモデルに自由度があるか否かを判定する手順と、自由度があると判定された場合に、この自由度を減らすために前記部分形状の間に付加すべき拘束関係を決定する手順とを、コンピュータに実行させるアセンブリモデル作成処理プログラムを記録したコンピュータ読取り可能な記録媒体とした。

【0018】

【発明の実施の形態】本発明によるアセンブリモデル作成方法の第1の実施の形態を図1、図2、図3を参照して説明する。

【0019】この第1の実施の形態のアセンブリモデル作成方法の処理手順を図1に示し、この第1の実施の形態の処理手順を図2に示す部品2、4、6からなるアセンブリモデルを作成する場合を例にとって説明する。なお、図3は本発明に使用されるコンピュータシステムの一構成例を示すブロック図である。

【0020】まず図1のステップF1に示すように部品形状の入力を行う。例えば図2に示す部品2、4、6の各形状を例えば図3に示すコンピュータ80の入力装置81を用いて読み込み、記憶装置85に記憶する。このとき、読み込まれた各部品は表示装置83によって例えば図2に示すように表示される。

【0021】次に部品の部分形状間の関係について入力すべき関係がある場合には部分形状とその関係を、上記入力装置81を用いて入力し、上記記憶装置85に格納する。(図1のステップF2、F3参照)。例えば図2に示す部品2、4、6からアセンブリモデルを作成する

5

ために、部品2と部品4に関して部品2の部分形状である平面2aと部品4の部分形状である平面4aが一致し、かつ部品2の部分形状である円筒面2bと部品4の部分形状である円筒面4bが同軸であるという関係を入力する。同様に部品4と部品6に関しては、部品4の部分形状である平面4cと部品6の部分形状である平面6aとが一致するという関係、および部品4の部分形状である平面4aと部品6の部分形状である平面6bが一致するという関係を入力する。

【0022】このように入力された関係が上記記憶装置85においてどのように記憶されるかを模式的に示した例を図4に示す。図4から分かるように記憶装置85においては、部品2、4、6の情報および部分形状の情報の他に、平面同士的一致関係3a、5a、5bおよび円筒面同士の同軸関係3bがデータとして存在している。

【0023】次に図1のステップF4に示すように、記憶装置85に格納された情報に基づいて、部品2、4、6の相対的位置関係を算出する。この相対的位置関係を算出する機能は、一般にソフトウェアとして提供されており、例えば英国D・Cubed社の3D-DCM-P 3 ver. 1. 8. 0はそのようなソフトウェアの一例である。以下、このようなソフトウェアを幾何拘束処理ライブラリともいう。具体的には、各部品には、部品特有のローカル座標系が設定されており、このローカル座標系と、アセンブリモデルを作成すべき空間に固定されたワールド座標系との間の変換マトリクスという形で上記相対的位置関係が表現される。すなわち、図4に示されている部品間の関係3a、3b、5a、5bから部品2と部品4および部品6の位置を表現する変換マトリクスが上記幾何拘束処理ライブラリによって自動的に計算される。

【0024】ここで、幾何拘束処理ライブラリの処理内容を2次元の簡単な例で詳しく説明する。図12に示すように、ワールド座標系101で示される空間に、部品102と部品103が存在する。今、部品102の部分形状である直線104と部品103の部分形状である直線105を一致させて、部品102と部品103の位置を計算することを考える。まず直線104は部品102のローカル座標系106aにおいて

【数1】

$$a_1(x - x_1) + b_1(y - y_1) = 0$$

と表現されている。また直線105は部品103のローカル座標系106bにおいて

【数2】

$$a_2(x - x_2) + b_2(y - y_2) = 0$$

という方程式で表現されている。

【0025】部品102の位置を示すワールド座標系101から部品102のローカル座標系106aへの変換

6

マトリックスは

【数3】

$$\begin{pmatrix} \cos \theta_1 & -\sin \theta_1 & \alpha_1 \\ \sin \theta_1 & \cos \theta_1 & \beta_1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

であり、部品103のワールド座標系101から部品103のローカル座標系106bへの変換マトリックスは

【数4】

$$\begin{pmatrix} \cos \theta_2 & -\sin \theta_2 & \alpha_2 \\ \sin \theta_2 & \cos \theta_2 & \beta_2 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

であるとする。このとき、直線104のワールド座標系101における方程式を

【数5】

$$a_{1w}(x - x_{1w}) + b_{1w}(y - y_{1w}) = 0$$

とし、直線105のワールド座標系101における方程式を

【数6】

$$a_{2w}(x - x_{2w}) + b_{2w}(y - y_{2w}) = 0$$

とすると、これらの関係は以下のようなマトリクスで表される。

【0026】

【数7】

$$\begin{pmatrix} x_{1w} \\ y_{1w} \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_1 & -\sin \theta_1 & \alpha_1 \\ \sin \theta_1 & \cos \theta_1 & \beta_1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} a_{1w} \\ b_{1w} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_1 & -\sin \theta_1 \\ \sin \theta_1 & \cos \theta_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ b_1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} x_{2w} \\ y_{2w} \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_2 & -\sin \theta_2 & \alpha_2 \\ \sin \theta_2 & \cos \theta_2 & \beta_2 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} a_{2w} \\ b_{2w} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_2 & -\sin \theta_2 \\ \sin \theta_2 & \cos \theta_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_2 \\ b_2 \end{pmatrix}$$

一方、2つの直線が一致する条件は、一方の直線上の一点が他の直線上にあること、および、方向ベクトルが平行（外積が0）であること、の2つの幾何学的条件と等価である。これをワールド座標系101において表現すると、

【数8】

7

$$a_{1w}(x_{2w} - x_{1w}) + b_{1w}(y_{2w} - y_{1w}) = 0$$

$$a_{1w}b_{2w} - b_{1w}a_{2w} = 0$$

となる。

【0027】この条件を加えて方程式を解けば、直線104と直線105が一致する条件を満たす部品102および部品103の位置が算出できる。方程式を解く都合から $\sin \theta$ と $\cos \theta$ をそれぞれsとcとおくと、以下のような2次の連立方程式になる。

【0028】

【数9】

$$a_{1w}(x_{2w} - x_{1w}) + b_{1w}(y_{2w} - y_{1w}) = 0$$

$$a_{1w}b_{2w} - b_{1w}a_{2w} = 0$$

$$\begin{pmatrix} x_{1w} \\ y_{1w} \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_1 & -s_1 & \alpha_1 \\ s_1 & c_1 & \beta_1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} a_{1w} \\ b_{1w} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_1 & -s_1 \\ s_1 & c_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ b_1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} x_{2w} \\ y_{2w} \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_2 & -s_2 & \alpha_2 \\ s_2 & c_2 & \beta_2 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} a_{2w} \\ b_{2w} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_2 & -s_2 \\ s_2 & c_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_2 \\ b_2 \end{pmatrix}$$

$$\begin{cases} c_1^2 + s_1^2 = 1 \\ c_2^2 + s_2^2 = 1 \end{cases}$$

ここには、12の独立な式があり、直線104と直線105のローカル座標系106a、106bにおける直線の方程式を表す8つの定数 $x_1, y_1, x_2, y_2, a_1, b_1, a_2, b_2$ が含まれる。変数は16あり、このうち求めたいのは部品102と部品103の位置を示すパラメータ $c_1, s_1, c_2, s_2, \alpha_1, \beta_1, \alpha_2, \beta_2$ である。これらの値を求めるには、上記2次連立方程式から8つの定数 $x_1, y_1, x_2, y_2, a_1, b_1, a_2, b_2$ と部品102と部品103の位置を示すパラメータ $c_1, s_1, c_2, s_2, \alpha_1, \beta_1, \alpha_2, \beta_2$ 以外の変数を消去し、 $c_1, s_1, c_2, s_2, \alpha_1, \beta_1, \alpha_2, \beta_2$ の値を求めれば良い。このように変数を消去する方法としては、多項式イデアル(polynomial ideal)のグレブナー基底(Groebner basis)を求めるブッフバーガーアルゴリズム(Buchber 50

8

ger algorithm)が知られているので、この方法を用いて不要な変数を消去してから $c_1, s_1, c_2, s_2, \alpha_1, \beta_1, \alpha_2, \beta_2$ の値を求めてもよいし、上記2次連立方程式の定数を代入して直接解いてもよい。いずれにしても、式の数よりも変数の数が4多いことから、式として4自由度があることが分る。

【0029】この式はワールド座標系101において定義されており、今注目しているのが2つの部品の相対的位置関係であることに注意すれば、どちらか一方の部品の位置を固定しても構わないので、例えば部品102を固定するとして、 c_1, α_1, β_1 を定数とすると、式の数よりも変数が1つ多いことになり、相対的な自由度は1あることが分る。部品103の位置を算出するには、 $c_2, s_2, \alpha_2, \beta_2$ の値の内1つを定数として決めて(現在の値に固定して)、他の値を求めればよい。また一般に、もし拘束条件が実現できないような状況(例えば2つの直線が平行でかつ垂直である)で定義されていれば、連立方程式に解が存在しなくなるので、検知可能である。

【0030】このように、幾何拘束処理ライブラリは、与えられた拘束関係を代数的な式として表現しなおして、処理を行なう。このため、自由度の検出や、拘束の整合性のチェックなどが効率的に可能になるが、もとの形状にもどって、直線にそった並進の自由度が2つの部品の間に存在することなどを発見することは極めて困難である。

【0031】上述の各部品の部分形状の間で定義された一致関係、すなわち部分形状間の拘束関係をすべて満足するように、算出された部品間の相対的位置関係(アセンブリモデル)の一例を図5に示す。この図5に示す相対的位置関係は、自動的に計算された部品の変換マトリクスを、部品の形状データに作用させて得られた部品の位置を示している。この相対的位置関係は図3に示す表示装置83を用いて表示される。

【0032】この図5からも分かるように、上述のようにして求められたアセンブリモデルは、部品間の相対的位置関係を完全に決定するだけの拘束関係を一般的に有しているとは限らない。例えば図5に示すように、部品2と部品4との間で相対的な回転10を行っても、また、部品4と部品6の間で相対的に平行移動12を行っても、依然として図4に示す関係はすべて保たれている。すなわち図5に示すアセンブリモデルは、回転自由度10と、並進自由度12とを有している。

【0033】そこで、再び図1に戻り、ステップF4で部品の相対的位置関係を算出した後は、ステップF2に戻り、部品の相対的位置関係を規定する拘束関係を入力するかどうかをチェックする。そして拘束関係の入力が無い場合には、ステップF5に進み、作成されたアセンブリモデルに自由度があるかどうか判定される。この自由度があるかどうかを判定する機能は例えば上述の幾何拘束処理ライブラリに備えられている。

9

【0034】しかし、上記幾何拘束処理ライブラリは、自由度があるかどうかは判定するが、自由度があると判定した場合には、その自由度が回転自由度であるのか、または並進自由度であるのかは導出しない。更に、これらの2つの自由度は回転角や平行移動距離などのパラメータによって記述されるが、これらのパラメータの種類（例えば角度、距離等）と、これらのパラメータの基準（例えば、どの点とどの点の距離なのか、どちらの向きを+にとるか等）に関する情報は上記幾何拘束処理ライブラリによっては与えられない。

【0035】また上記幾何拘束処理ライブラリは、図5において、部品6を斜め上方に移動させようとしたときには、与えられた拘束を満足させながら移動させる、すなわち水平方向に移動させる機能は備えている。しかし、この機能は、並進のパラメータを陽に用いていない。

【0036】一方機構解析、障害物回避動作計画などの分野においては機構の自由度を規定するパラメータにより運動を記述する。すなわち図5の例においては、回転自由度10に対応する回転角と並進自由度12に対応する平行移動距離の2つのパラメータがこれに対応する。

【0037】本発明は上述のパラメータを自動的に算出するように構成されている。これらのパラメータを規定する部分形状について図6参照して説明する。

【0038】図6は、これらのパラメータを規定するための部分形状の例を示している。符号8a、8bは円筒面の中心軸と直交する方向ベクトルを表す直線である。これら直線8a、8bは円筒面に剛体接続されていると考える。同筒同士が同軸という拘束関係があれば上記直線8a、8b同士の角度を新たな拘束関係として付加することにより、この角度が回転自由度のパラメータとなる。従って、このような直線8a、8bは円筒の形状ないしは位置姿勢を表す要素であるので、本発明においては部分形状であると定義する。

【0039】また図6において符号9a、9bは、部品4、6上の頂点である。これらの頂点9a、9bは平面同士が一致するという拘束関係が既に定義されている平面の部分形状ではないが、平面上の幾何要素であり、幾何学的ないしは位相的に関係している。このため部品4の平面4cと部品6の平面6bが一致している拘束関係の下で、各々の平面上の同一直線上の頂点9a、9b間の距離を新たな拘束関係として付加することにより、この距離が並進自由度のパラメータとなる。

【0040】再び図1に戻り、ステップF5において、自由度があると判定された場合には、自由度の個数を減らすために部品の部分形状間に付加すべき拘束関係の候補を決定する（図1のステップF6参照）。そしてこの決定された拘束関係を、アセンブリモデルに付加する（図1のステップF7参照）。例えば図5に示すアセンブリモデルに、図6に示す直線8a、8bのなす角度、

10

頂点9a、9b間の距離を新たな拘束関係14、16として付加したときに記憶装置に記憶されている様子を図7に示す。

【0041】次にステップF7で新たな拘束関係を付加した後、自由度が減少したかどうかを例えば前述の幾何拘束処理ライブラリを用いてチェックする（図1のステップF8参照）。自由度が減少しなかったり、過剰拘束になる場合には、上記新たに付加した拘束関係を削除し（図1のステップF9参照）、ステップF6に戻り、付加すべき拘束関係の候補を新たに決定し上述のことを繰り返す。

【0042】ステップF8において、自由度が減少した場合には、ステップF7で付加した拘束関係をパラメータとして登録する（図1のステップF10参照）。その後ステップF5に戻り、自由度があるかどうかをチェックする。自由度が無い場合にアセンブリモデルの作成が終了する。なお上記登録したパラメータは機構解析や障害物回避動作計画に用いることができる。

【0043】なお、ステップF3で入力された拘束関係はアセンブリモデルを作成するための拘束関係であるのに対して、ステップF7で付加された拘束関係は自由度を減らすための拘束関係である。このため後者の拘束関係に属性を付加することにより前者の拘束関係と区別するようにしておく。

【0044】以下では、本発明の特徴であるステップF6の部分形状と関係の候補の決定の処理手順についてさらに細かく説明する。すなわち、図7における部分形状8a、8bとその拘束関係14および頂点9a、9bとその拘束関係16を、どのような手順で候補として選出するかについて説明する。図8は最も単純な処理手順のフローを表している。

【0045】まず、ステップF21で部分形状の組合わせが、既に列挙または順序付けされているか否かをチェックする。列挙または順序付けされている場合にはステップF25に進む。列挙または順序付けされていない場合はそれぞれの部品について部分形状のあらゆる候補を列挙する（ステップF22）。図4および図5の例では、部品2、部品4、部品6それぞれについて関係を少なくとも1種類は付けることのできる部分形状をすべて列挙する。列挙すべき部分形状としては、平面、球面、円筒面、直線、円弧、頂点などが典型的であり、この例においてはすべての形状要素が候補になる。自由曲面などをもつ形状の場合には、そのような面は候補から除外される場合が多い。候補として列挙すべきかどうかは、幾何拘束処理ライブラリが扱えるかどうかで決まる。

【0046】次にステップF23においては、部品間で、幾何拘束処理ライブラリの扱うことが可能なあらゆる部分形状の組とそれらの部分形状間の拘束関係との組合せを列挙する。ただし、ここで列挙する拘束関係は角度、距離などの位置を示すパラメータが付随するものに

限られる。例えば、平面と平面の一致の関係を付加して、自由度を減少させることは可能であるが、このような関係は、ユーザーがアセンブリ作成の際に意図していない拘束を付加するものであり、本来可能な運動を不可能にってしまうからである。

【0047】一方、距離や角度の拘束は、そのパラメータである距離の値や角度の値を特定の値の決定した場合には、それに対応する特定の機構の（すなわちアセンブリの）位置姿勢を表すが、パラメータの値を変化させることで、ユーザーの意図した運動を実現することが可能となる。すなわち、ステップF23において列挙される関係は、平面と平面の距離、平面と頂点の距離、円筒と円筒の距離、頂点と頂点の距離、頂点と平面の距離、直線と直線の距離、平面と平面の角度、直線と直線の角度などが例として考えられる。ステップF24ではこれらの関係について列挙された順番で順序付けし、ステップF25では最初の候補を出力する。2回目以降の候補決定の際には、すなわち図1においてステップF7の実行の結果ステップF8、F9を介してステップF6に戻ってきた場合には、ステップF21の判定処理を介してステップF25に直接飛び、順次2番目以降の関係を候補として出力する。これらの関係の候補は図1のステップ*

*F7において試験的に付加され、自由度が減少すればその拘束関係に属性をつけて残すことにより機構パラメータとして採用される。

【0048】しかし、この方法ではチェックすべき拘束関係の候補の数が一般には膨大になり、効率が低い。このため予めリストアップされた候補を優先することが考えられる。この予めリストアップされた候補を優先する方法は、この問題を解決し、図1のステップF6を効率化することを可能にする。そのために、すでにアセンブリを定義するためにユーザーにより入力された関係（図4においては3a、3b、5a、5b）は、多くの場合機構の関節などに関連することに着目する。すなわち、このようにアセンブリモデル作成の際に入力された関係のタイプごとに、機構パラメータとなる可能性のある関係を表の形でデータベース化しておき、図8においてすべての関係の組合わせを列挙する前に、これら表の形のデータベースに格納されている関係を優先的にステップF6、F7に適用する。以下の表はそのようなデータベースとなるテーブルの一例を示している。

【0049】

【表1】

部分形状(1)	部分形状(2)	拘束関係	候補となる拘束関係
平面	平面	一致	それぞれの平面上の同一直線上の頂点間の距離
平面	平面	平行	平面間の距離
直線	直線	一致	それぞれの直線上の頂点間の距離
直線	直線	一致	これら直線に接続する幾何要素（平面など）間の角度
直線	直線	平行	直線間の距離
円筒	円筒	同軸	軸に直行する直線同士との角度
円筒	円筒	平行	軸間の距離
直線	頂点	一致	直線上の頂点との距離
頂点	頂点	一致	これら頂点に接続する幾何要素（平面、頂点など）間の角度

例えば図4に示す関係5aは平面4cと平面6aの一致の関係であるので、上記表の1行目にあるようにこれら平面4aと平面6aの同一直線上の頂点の組みである、図6に示す頂点9aと9bが膨大な組合わせをチェックすることなしに候補として選ばれる。実際の機構においては、回転関節や並進スライドジョイントなどはいくつかの摺動部を持つことが多く、かつこのような摺動面はアセンブリ入力の際にユーザーにより入力されているため、現実の機構の摺動部に即した形で関係が付加され、機構パラメータが定義されるメリットもある。同様に図4に示す円筒2bと円筒4bの同軸関係3bは表の6行目に一致し、図7に示す関係14が候補として選ばれる。このようなデータベースないしは表を参照する機能

を加えた場合の処理手順は図9に示すフローのようになる。この図9に示すフローは図8に示すフローにステップF31とF32が付加された構成となる。

【0050】さらに、本発明により自動的に付加される拘束関係がユーザーからも直観的となるように処理手順を改善する方法を図10および図11を参照して説明する。図10は、2つの三角柱61、62が平面と平面の一致の関係と軸穴対偶に相当する円筒と円筒の同軸関係とによりアセンブリモデルとして定義されたことを示す図である。図10(a)はその斜視図であり図10

(b)はその平面図である。

【0051】上記表のデータベースによれば、このアセンブリの機構パラメータとなる関係としては「平面と平

13

面の一致」という関係から「頂点 6 4 と頂点 6 5 の距離」が候補として考えられる。また同様に「円筒と円筒が同軸」という関係から「直線 6 6 と直線 6 7 の角度」も候補として考えられる。機構パラメータとしては、どちらも自由度を正しく相殺し、距離や角度のパラメータによって機構の運動を制御できることから、正しい拘束であると言える。

【0052】しかし、「直線 6 6 と直線 6 7 の角度」については、実際の機構において軸 6 3 にモータをつけるなどして角度のパラメータを実際に制御できるのに対して、「頂点 6 4 と頂点 6 5 の距離」は新たな伸縮機構を備えたリンクを加えるなどしないと機構の制御が難しい。このような理由から、回転の角度をパラメータとして選択する方が、より実際の人間の感覚に近いことが分かる。

【0053】これを実際の処理手順に反映させると、図 11 に示すようになる。候補として選択された部分形状とその関係について、図 11 のステップ F 4 1 において、そのようなパラメータ（すなわち並進あるいは回転）の自由があるかどうかをチェックするのである。図 10 に示す例では、「頂点 6 4 と頂点 6 5 の距離」は距離の関係であり並進自由度に対応する。しかし、部品 6 1 を固定してこの距離を増加する状況を考えて、6 9 に示されるような位置に部品 6 2 が移動することになり、頂点 6 4 と頂点 6 5 を結ぶ直線 6 8 上は移動しないことが分かる。一方、「直線 6 6 と直線 6 7 の角度」については、その値を増加させて位置 6 9 まで部品 6 2 を移動させても、回転中心は移動していないことが分かる。このような比較により、この機構においては、「直線 6 6 と直線 6 7 の角度」に対応する回転が本質的であり、「頂点 6 4 と頂点 6 5 の距離」はこの自由度を別の距離というパラメータにより制御することが可能であることを示しているに過ぎないことが分かる。このように、パラメータに対応する関係を比較し、より人間の直感に近いものを優先させれば、よりユーザーにとって使いやすいものになる。

【0054】以上では、機構パラメータとそれに対応する関係をどのように決定するかに重点をおいて説明してきた。機構解析や障害物回避動作計画などのアプリケーションにこのようなデータを送ることにより、アセンブリモデルのデータから直接機構解析や障害物回避動作計画などのアプリケーションを実行することが可能になる。また、関節パラメータの変化から機構の動きを求めるような簡単な機構解析は、以下のようにそのまま実行することも可能である。すなわち、以上のステップで決定された機構パラメータに対するある時刻における値が与えられると、図 1 のステップ F 4 で実行するのと同様に幾何拘束処理ライブラリによって個々の部品の 3 次元ないしは 2 次元空間における位置・姿勢を決定し、これを時刻の刻み幅にあわせて順次変化させることで、機構

14

としての動きをシミュレーションとして確認するなどの作業を行うことが可能になる。

【0055】また上記実施の形態においては、図 1 に示すステップ F 4 からステップ F 10 までの処理手順は、プログラムとして記録媒体（例えば、CD-ROM、光磁気ディスク、または DVD (Digital Versatile Disk) 等の光ディスクや、フロッピーディスク、メモリカード等）に記録される。

【0056】したがって、図 8 に示すステップ F 21 ~ F 25 までの処理手順、図 9 に示すステップ F 21 ~ F 25 およびステップ F 31、F 32 の処理手順、または図 11 に示すステップ F 21 ~ F 25、ステップ F 31、F 32、およびステップ F 41 の処理手順は各々図 1 のステップ F 6 として記録媒体に記録されることになる。

【0057】この記録は次のようにして行われる。まず図 3 に示すようにコンピュータ 80 を起動し、記録媒体を記憶装置（図 3 においては FD ドライブ 87 または CD-ROM ドライブ 89）にセットする。続いて入力手段（例えばキーボード）81 を用いて、例えば上記実施の形態の場合はステップ F 4 からステップ F 10 までの処理手順をプログラムとして順次入力する。するとこの入力されたプログラムはコンピュータ 80 の CPU（図示せず）によって、記録媒体に書込まれる。この書込む際には表示装置 86 を利用すると便利である。

【0058】このような記録媒体に記録されたアセンブリモデル作成処理手順を実行する場合について説明する。まずアセンブリモデル処理手順をプログラムとして記録された記録媒体を、読取り装置（図 3 では FD ドライブ 87 または CD-ROM ドライブ 89）にセットする。続いて上記読取り装置に接続されたコンピュータ 80 の CPU によって上記記録媒体から上記プログラムが読出されて順次実行される。

【0059】

【発明の効果】以上説明したように本発明のアセンブリモデル作成方法によれば、形状特徴間の拘束関係を入力することにより作成されたアセンブリのモデルに、機構解析や障害物回避動作計画に利用するために必要となる付加的な幾何拘束関係とそれに付随する機構パラメータが自動的に設定され、そのまま、機構解析や障害物回避動作計画を実行することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明によるアセンブリモデル作成方法の一実施の形態の処理手順を示すフローチャート。

【図 2】アセンブリモデルの構成部品を示す斜視図。

【図 3】本発明によるアセンブリモデル作成方法が使用されるコンピュータシステムの一構成例を示すブロック図。

【図 4】アセンブリモデルを作成する際に各部品の部分形状と、これらの部分形状の間に定義された拘束関係と

15

が記憶装置に記録されたときの様子を示す模式図。

【図5】各部品の部分形状間に拘束関係が定義されたときに、どの自由度が残っているかを説明する斜視図。

【図6】自由度を相殺するために導入される部分形状の例を説明する各部品の斜視図。

【図7】各部品の部分形状と、これらの部分形状の間の拘束関係と、自由度を相殺するために導入された拘束関係とが記憶装置に記録されたときの様子を示す模式図。

【図8】部分形状と拘束関係の候補を決定する処理の第1の具体例を示すフローチャート。

【図9】部分形状と拘束関係の候補を決定する処理の第2の具体例を示すフローチャート。

【図10】ユーザーにとって直感的な関係を優先する処理手順を説明する説明図。

【図11】ユーザーにとって直感的な関係を優先する処理を考慮したときの部分形状と拘束関係の候補を決定する処理手順を示すフローチャート。

【図12】幾何拘束処理ライブラリの処理内容を示す線図。

【符号の説明】

2 部品

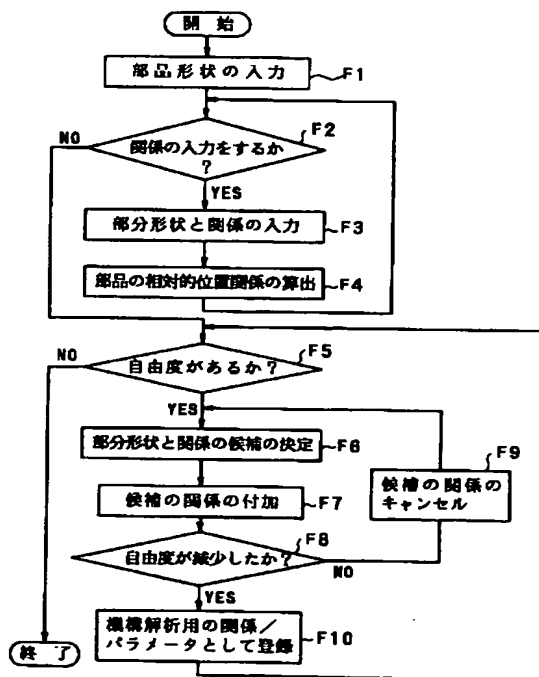
10

20

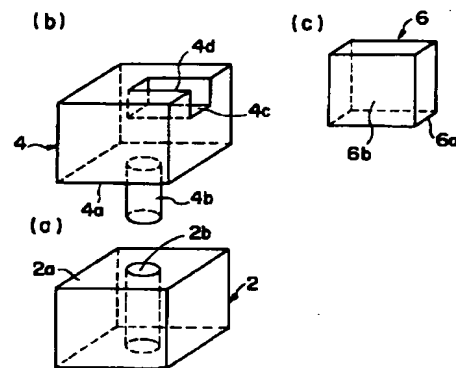
*

- * 2 a 平面
- 2 b 円筒
- 3 a 拘束関係
- 3 b 拘束関係
- 4 部品
- 4 a 平面
- 4 b 円筒
- 4 c 平面
- 4 d 平面
- 10 5 a 拘束関係
- 5 b 拘束関係
- 6 部品
- 6 a 平面
- 6 b 平面
- 8 a 部分形状 (直線)
- 8 b 部分形状 (直線)
- 9 a 頂点
- 9 b 頂点
- 10 回転自由度
- 12 並進自由度

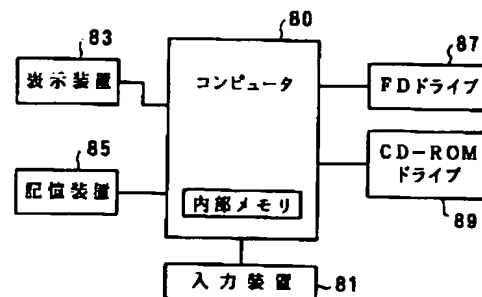
【図1】



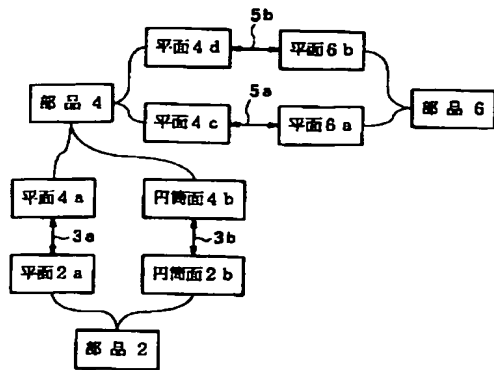
【図2】



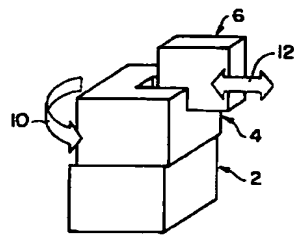
【図3】



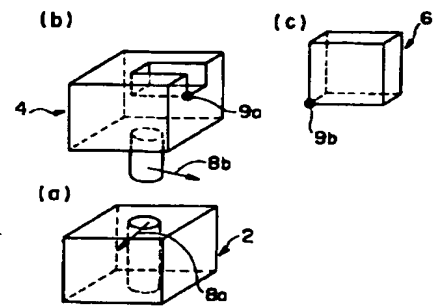
【図4】



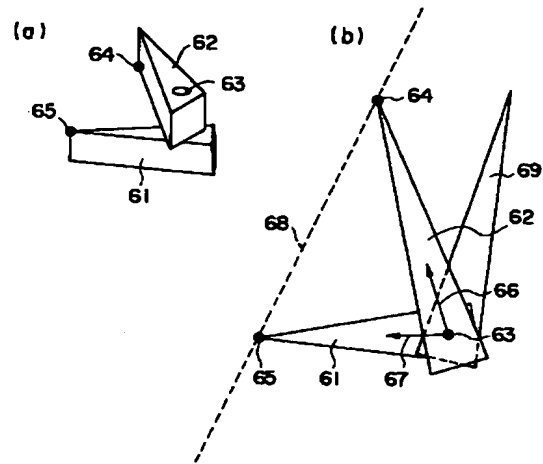
【図5】



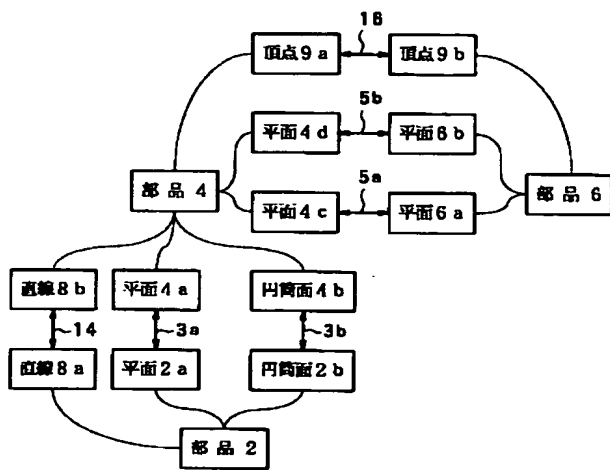
【図6】



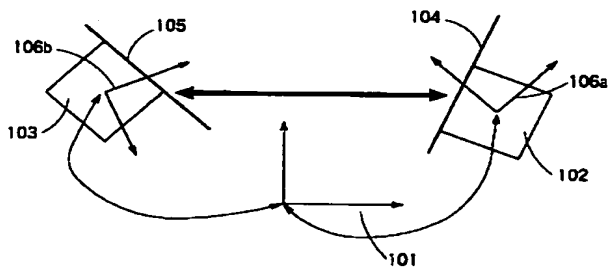
【図10】



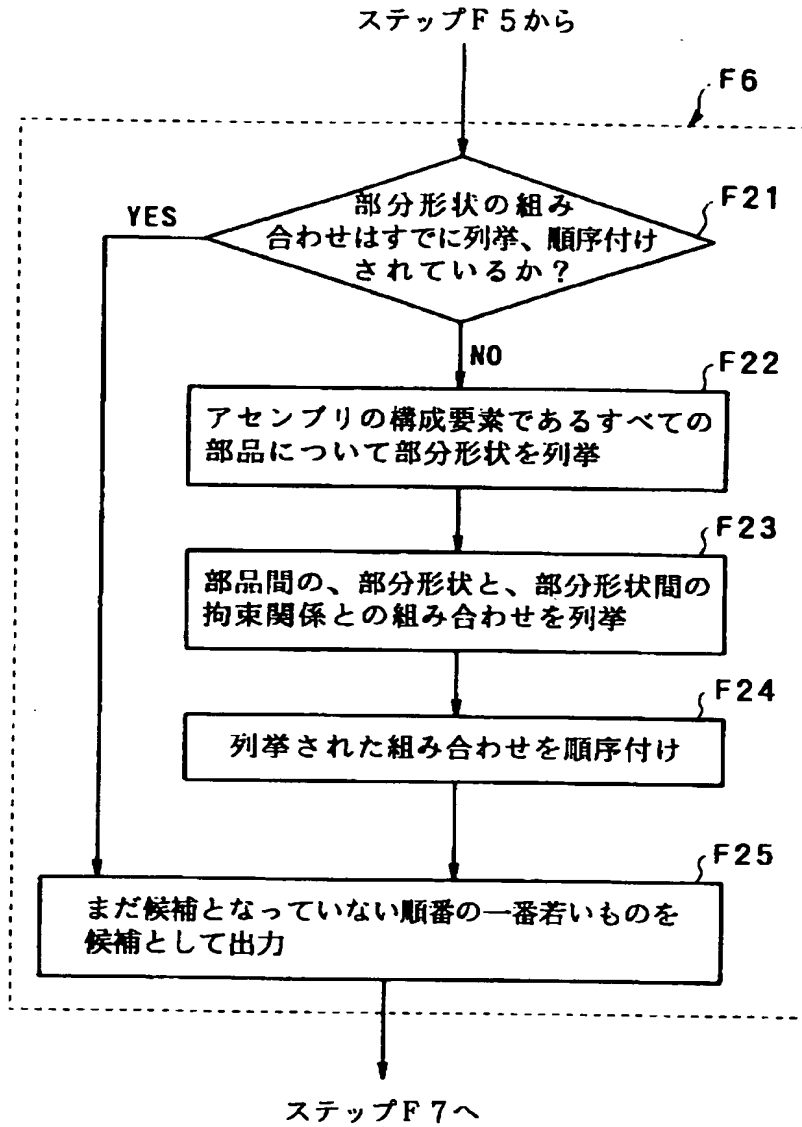
【図7】



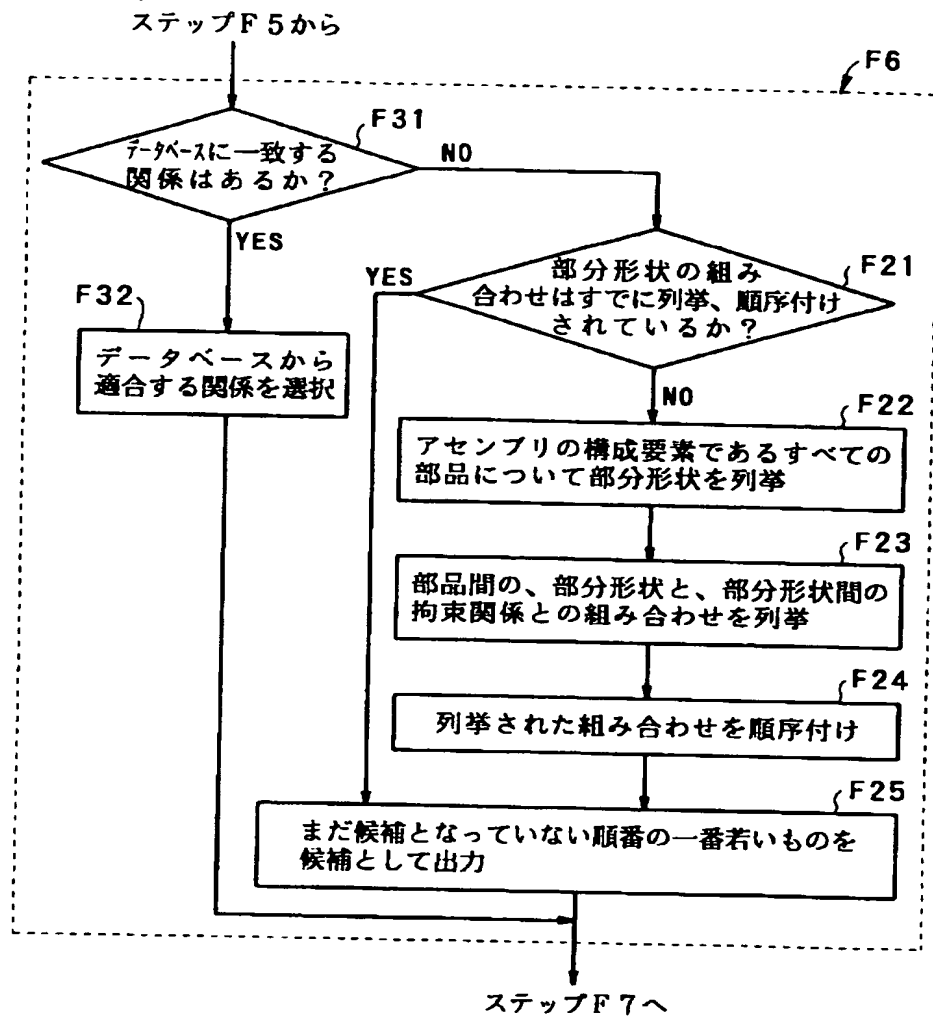
【図12】



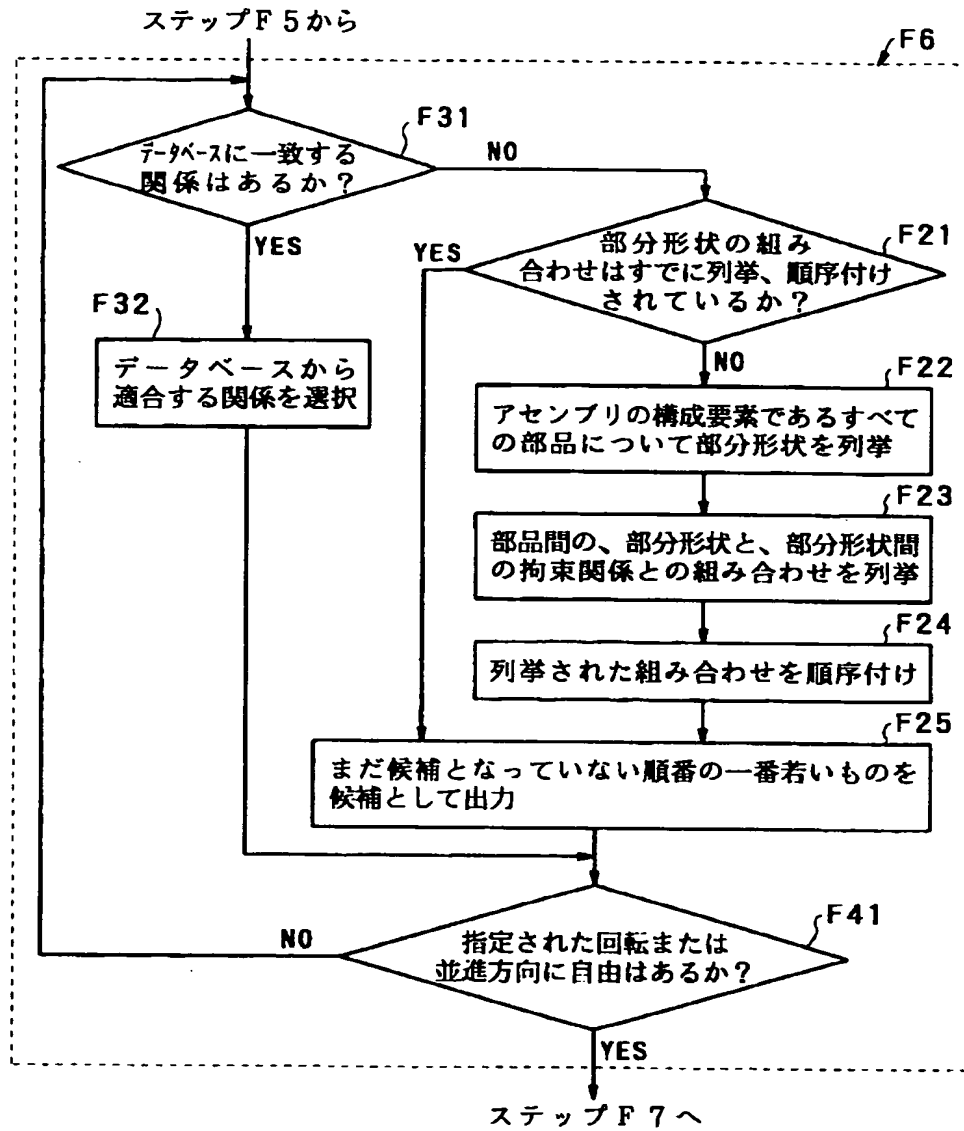
【図8】



【図9】



【図11】



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2000-137740
(P2000-137740A)

(43)公開日 平成12年5月16日(2000.5.16)

(51)Int.Cl.⁷

G 0 6 F 17/50

識別記号

F I

G 0 6 F 15/60

テーマコード(参考)

6 0 4 H

審査請求 未請求 請求項の数7 O L (全 13 頁)

(21)出願番号 特願平11-234687

(22)出願日 平成11年8月20日(1999.8.20)

(31)優先権主張番号 特願平10-238900

(32)優先日 平成10年8月25日(1998.8.25)

(33)優先権主張国 日本 (J P)

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72)発明者 近 藤 浩 一

神奈川県川崎市幸区柳町70番地 株式会社

東芝柳町工場内

(74)代理人 100064285

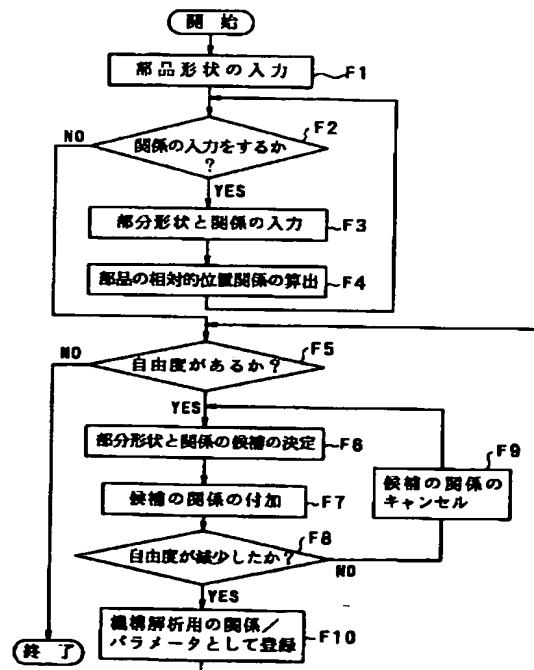
弁理士 佐藤 一雄 (外3名)

(54)【発明の名称】 アセンブリモデル作成方法およびアセンブリモデル作成処理プログラムを記録した記録媒体

(57)【要約】

【課題】 機構解析や障害物回避動作計画に用いることが可能なアセンブリモデルを得ることを目的とする。

【解決手段】 複数の部品の各々の部分形状と、これらの部分形状の間の拘束関係を入力し、記憶装置に記憶するステップと、前記記憶装置に記憶されている前記部分形状および前記拘束関係に基づいて前記複数の部品の相対的位置関係を算出するステップと、前記算出された相対的位置関係に基づいてアセンブリモデルを作成するステップと、前記作成されたアセンブリモデルに自由度があるか否かを判定するステップと、自由度があると判定された場合に、この自由度を減らすために前記部分形状の間に付加すべき拘束関係を決定するステップと、を備えたことを特徴とする。



1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】複数の部品の各々の部分形状と、これらの部分形状の間の拘束関係を入力し、記憶装置に記憶するステップと、

前記記憶装置に記憶されている前記部分形状および前記拘束関係に基づいてアセンブリモデルとなる前記複数の部品の相対的位置関係を算出するステップと、

前記作成されたアセンブリモデルに自由度があるか否かを判定するステップと、

自由度があると判定された場合に、この自由度を減らすために前記部分形状の間に付加すべき拘束関係を決定するステップと、

を備えたことを特徴とするアセンブリモデル作成方法。

【請求項 2】前記決定された拘束関係を前記アセンブリモデルに付加し、自由度が減少したか否かを判定するステップと、

自由度が減少しないと判定された場合には、前記付加した拘束関係を削除した後、前記拘束関係を決定するステップに戻るステップと、

自由度が減少した場合には前記付加した拘束関係に付随するパラメータを登録した後、前記自由度があるか否かを判定するステップと、

を更に備えたことを特徴とする請求項 1 記載のアセンブリモデル作成方法。

【請求項 3】前記登録されたパラメータはアセンブリモデルの部品の運動を規定するパラメータとして利用されることを特徴とする請求項 1 または 2 記載のアセンブリモデル作成方法。

【請求項 4】前記拘束関係を決定するステップは、前記アセンブリモデルの構成要素であるすべての部品についての部分形状を列挙するステップと、

前記部品間の部分形状と、部分形状間の拘束関係との組み合わせを列挙するステップと、

前記列挙された組み合わせを順序付けるステップと、

前記順序付けられた順序に従って拘束関係を決定するステップと、

を備えたことを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載のアセンブリモデル作成方法。

【請求項 5】前記部品間の部分形状と、この部分形状間の拘束関係との組み合わせが複数組第 2 の記憶装置に記憶されており、

前記拘束関係を決定するステップは、前記第 2 の記憶装置に記憶されている複数組の中から 1 つの組を選択し、この選択された組の拘束関係を付加すべき拘束関係として決定することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載のアセンブリモデル作成方法。

【請求項 6】前記複数の組は順序付けられており、前記拘束関係を決定するステップは、順序付けられた順序に従って複数組の中から 1 つの組を順次選択することを特徴とする請求項 5 記載のアセンブリモデル作成方法。

2

【請求項 7】記憶装置に記憶されている、複数の部品の各々の部分形状と、これらの部分形状間の拘束関係とに基づいて前記複数の部品の相対的位置関係を算出する手順と、

前記算出された相対的位置関係に基づいてアセンブリモデルを作成する手順と、

前記作成されたアセンブリモデルに自由度があるか否かを判定する手順と、

自由度があると判定された場合に、この自由度を減らすために前記部分形状の間に付加すべき拘束関係を決定する手順と、

を、コンピュータに実行させるアセンブリモデル作成処理プログラムを記録したコンピュータ読取り可能な記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明はアセンブリモデル作成方法およびアセンブリモデル作成処理プログラムを記録した記録媒体に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、コンピュータ支援設計（Computer Aided Design（以下、CADと云う））システムを用いて、2次元形状または3次元形状の複数の部品のアセンブリモデルを作成する方法が知られている。この従来のアセンブリモデル作成方法は、複数の部品の形状データをCADシステムを用いて入力するとともに、形状特徴と呼ばれるこれら部品の部分形状の間に、平行、直角、一致、距離、角度、同心などの幾何学的な拘束関係を入力し、これらの形状データ（部分形状）および拘束関係に基づいて部品間の位置関係をコンピュータソフトウェアによって自動的に算出し、アセンブリのモデルを作成するものである。

【0003】一方、機構解析を行う目的で、自由度をもつ部分を例えば関節として入力し、機構パラメータ（例えば関節角）の変化や、上記関節に対する駆動力により、機構の運動などのシミュレーションを行うソフトウェアが知られている。

【0004】また、機構の持つ自由度と、機構の位置・姿勢を一意に決めるパラメータの組みを入力することにより、予め定義された周囲の障害物との干渉を回避して、与えられた初期位置から目標位置までの移動経路を自動的に算出する障害物回避動作計画が知られている。

【0005】従来のアセンブリモデル作成方法は、作成した機構が自由度を持っているかどうかをチェックする機能や、自由度を持つ部品をディスプレイ画面の上で指定し、移動方向を指定すると、拘束関係を満たしたまま指定された移動方向に最も近い動きをさせる機能を備えている。

【0006】しかし、これらの機能はアセンブリ中の部品を移動させた後に、部品の位置をずらして拘束を満た

3

すようにすることによって実現される。

【0007】このため従来のアセンブリ作成方法は、どのようなパラメータを機構パラメータとして指定すれば、機構の運動を一意に記述できるかという情報、すなわち、機構解析や障害物回避動作計画に必要な情報を提供することができない。

【0008】したがって、機構解析や障害物回避動作計画を行う際には、従来のアセンブリモデル作成方法によって得られるアセンブリモデルのデータが存在する場合であっても、改めてどの部分を関節として入力するかを人手により検討し、関節として設定された数に過不足が無いかどうかを人手によりチェックし、これらの関節の機構パラメータの零点の位置指定を人手により行うなどの必要がある。このような作業は複雑な機構になればなるほど困難な作業となり、多くの場合、機構解析を実際に一度実行することによって関節の設定ミスを探すなどの手間が必要になる。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】以上述べたように、従来のアセンブリモデル作成方法によって得られるアセンブリモデルのデータは直接に機構解析や障害物回避動作計画に利用することができず、機構解析や障害物回避動作計画に用いる際には非常に手間がかかるという問題があった。

【0010】本発明は上記事情を考慮してなされたものであって、機構解析や障害物回避動作計画に用いることが可能なアセンブリモデルを作成することのできるアセンブリモデル作成方法を得ることを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために本発明は、複数の部品の各々の部分形状と、これらの部分形状の間の拘束関係を入力し、記憶装置に記憶するステップと、前記記憶装置に記憶されている前記部分形状および前記拘束関係に基づいてアセンブリモデルとなる前記複数の部品の相対的位置関係を算出するステップと、前記作成されたアセンブリモデルに自由度があるか否かを判定するステップと、自由度があると判定された場合に、この自由度を減らすために前記部分形状の間に付加すべき拘束関係を決定するステップとを備えたアセンブリモデル作成方法とした。

【0012】ここで、前記決定された拘束関係を前記アセンブリモデルに付加し、自由度が減少したか否かを判定するステップと、自由度が減少しないと判定された場合には、前記付加した拘束関係を削除した後、前記拘束関係を決定するステップに戻るステップと、自由度が減少した場合には前記付加した拘束関係に付随するパラメータを登録した後、前記自由度があるか否かを判定するステップとを更に備えてもよい。

【0013】また、前記登録されたパラメータはアセンブリモデルの部品の運動を規定するパラメータとして利

4

用されてもよい。

【0014】また、前記拘束関係を決定するステップは、前記アセンブリモデルの構成要素であるすべての部品についての部分形状を列挙するステップと、前記部品間の部分形状と、部分形状間の拘束関係との組み合わせを列挙するステップと、前記列挙された組み合わせを順序付けるステップと、前記順序付けられた順序に従って拘束関係を決定するステップとを備えてもよい。

【0015】また、前記部品間の部分形状と、この部分形状間の拘束関係との組み合わせが複数組第2の記憶装置に記憶されており、前記拘束関係を決定するステップは、前記第2の記憶装置に記憶されている複数組の中から1つの組を選択し、この選択された組の拘束関係を付加すべき拘束関係として決定するように構成してもよい。

【0016】また、前記複数の組は順序付けられており、前記拘束関係を決定するステップは、順序付けられた順序に従って複数組の中から1つの組を順次選択するように構成してもよい。

【0017】さらに本発明は、記憶装置に記憶されている、複数の部品の各々の部分形状と、これらの部分形状間の拘束関係とに基づいて前記複数の部品の相対的位置関係を算出する手順と、前記算出された相対的位置関係に基づいてアセンブリモデルを作成する手順と、前記作成されたアセンブリモデルに自由度があるか否かを判定する手順と、自由度があると判定された場合に、この自由度を減らすために前記部分形状の間に付加すべき拘束関係を決定する手順とを、コンピュータに実行させるアセンブリモデル作成処理プログラムを記録したコンピュータ読取り可能な記録媒体とした。

【0018】

【発明の実施の形態】本発明によるアセンブリモデル作成方法の第1の実施の形態を図1、図2、図3を参照して説明する。

【0019】この第1の実施の形態のアセンブリモデル作成方法の処理手順を図1に示し、この第1の実施の形態の処理手順を図2に示す部品2、4、6からなるアセンブリモデルを作成する場合を例にとって説明する。なお、図3は本発明に使用されるコンピュータシステムの一構成例を示すブロック図である。

【0020】まず図1のステップF1に示すように部品形状の入力を行う。例えば図2に示す部品2、4、6の各形状を例えば図3に示すコンピュータ80の入力装置81を用いて読み込み、記憶装置85に記憶する。このとき、読み込まれた各部品は表示装置83によって例えば図2に示すように表示される。

【0021】次に部品の部分形状間の関係について入力すべき関係がある場合には部分形状とその関係を、上記入力装置81を用いて入力し、上記記憶装置85に格納する。(図1のステップF2、F3参照)。例えば図2に示す部品2、4、6からアセンブリモデルを作成する

5

ために、部品 2 と部品 4 に関して部品 2 の部分形状である平面 2 a と部品 4 の部分形状である平面 4 a が一致し、かつ部品 2 の部分形状である円筒面 2 b と部品 4 の部分形状である円筒面 4 b が同軸であるという関係を入力する。同様に部品 4 と部品 6 に関しては、部品 4 の部分形状である平面 4 c と部品 6 の部分形状である平面 6 a とが一致するという関係、および部品 4 の部分形状である平面 4 a と部品 6 の部分形状である平面 6 b が一致するという関係を入力する。

【0022】このように入力された関係が上記記憶装置 85 においてどのように記憶されるかを模式的に示した例を図 4 に示す。図 4 から分かるように記憶装置 85 においては、部品 2、4、6 の情報および部分形状の情報の他に、平面同士的一致関係 3 a、5 a、5 b および円筒面同士の同軸関係 3 b がデータとして存在している。

【0023】次に図 1 のステップ F 4 に示すように、記憶装置 85 に格納された情報に基づいて、部品 2、4、6 の相対的位置関係を算出する。この相対的位置関係を算出する機能は、一般にソフトウェアとして提供されており、例えば英国 D・Cubed 社の 3D-DCM-P 3 ver. 1. 8. 0 はそのようなソフトウェアの一例である。以下、このようなソフトウェアを幾何拘束処理ライブラリともいう。具体的には、各部品には、部品特有のローカル座標系が設定されており、このローカル座標系と、アセンブリモデルを作成すべき空間に固定されたワールド座標系との間の変換マトリクスという形で上記相対的位置関係が表現される。すなわち、図 4 に示されている部品間の関係 3 a、3 b、5 a、5 b から部品 2 と部品 4 および部品 6 の位置を表現する変換マトリクスが上記幾何拘束処理ライブラリによって自動的に計算される。

【0024】ここで、幾何拘束処理ライブラリの処理内容を 2 次元の簡単な例で詳しく説明する。図 12 に示すように、ワールド座標系 101 で示される空間に、部品 102 と部品 103 が存在する。今、部品 102 の部分形状である直線 104 と部品 103 の部分形状である直線 105 を一致させて、部品 102 と部品 103 の位置を計算することを考える。まず直線 104 は部品 102 のローカル座標系 106 a において

【数 1】

$$a_1(x-x_1)+b_1(y-y_1)=0$$

と表現されている。また直線 105 は部品 103 のローカル座標系 106 b において

【数 2】

$$a_2(x-x_2)+b_2(y-y_2)=0$$

という方程式で表現されている。

【0025】部品 102 の位置を示すワールド座標系 101 から部品 102 のローカル座標系 106 a への変換

6

マトリクスは

【数 3】

$$\begin{pmatrix} \cos\theta_1 & -\sin\theta_1 & \alpha_1 \\ \sin\theta_1 & \cos\theta_1 & \beta_1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

であり、部品 103 のワールド座標系 101 から部品 103 のローカル座標系 106 b への変換マトリクスは

【数 4】

$$\begin{pmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & \alpha_2 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & \beta_2 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

であるとする。このとき、直線 104 のワールド座標系 101 における方程式を

【数 5】

$$a_{1w}(x-x_{1w})+b_{1w}(y-y_{1w})=0$$

とし、直線 105 のワールド座標系 101 における方程式を

【数 6】

$$a_{2w}(x-x_{2w})+b_{2w}(y-y_{2w})=0$$

とすると、これらの関係は以下のようなマトリクスで表される。

【0026】

【数 7】

$$\begin{pmatrix} x_{1w} \\ y_{1w} \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta_1 & -\sin\theta_1 & \alpha_1 \\ \sin\theta_1 & \cos\theta_1 & \beta_1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} a_{1w} \\ b_{1w} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta_1 & -\sin\theta_1 \\ \sin\theta_1 & \cos\theta_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ b_1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} x_{2w} \\ y_{2w} \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & \alpha_2 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & \beta_2 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} a_{2w} \\ b_{2w} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_2 \\ b_2 \end{pmatrix}$$

一方、2つの直線が一致する条件は、一方の直線上の一点が他の直線上にあること、および、方向ベクトルが平行（外積が 0）であること、の 2つの幾何学的条件と等価である。これをワールド座標系 101 において表現すると、

【数 8】

7

$$a_{1w}(x_{2w} - x_{1w}) + b_{1w}(y_{2w} - y_{1w}) = 0$$

$$a_{1w}b_{2w} - b_{1w}a_{2w} = 0$$

となる。

【0027】この条件を加えて方程式を解けば、直線104と直線105が一致する条件を満たす部品102および部品103の位置が算出できる。方程式を解く都合から $\sin\theta$ と $\cos\theta$ をそれぞれ s と c とおくと、以下のような2次の連立方程式になる。

【0028】

【数9】

$$a_{1w}(x_{2w} - x_{1w}) + b_{1w}(y_{2w} - y_{1w}) = 0$$

$$a_{1w}b_{2w} - b_{1w}a_{2w} = 0$$

$$\begin{pmatrix} x_{1w} \\ y_{1w} \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_1 & -s_1 & \alpha_1 \\ s_1 & c_1 & \beta_1 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} a_{1w} \\ b_{1w} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_1 & -s_1 \\ s_1 & c_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ b_1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} x_{2w} \\ y_{2w} \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_2 & -s_2 & \alpha_2 \\ s_2 & c_2 & \beta_2 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} a_{2w} \\ b_{2w} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_2 & -s_2 \\ s_2 & c_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_2 \\ b_2 \end{pmatrix}$$

$$\begin{cases} c_1^2 + s_1^2 = 1 \\ c_2^2 + s_2^2 = 1 \end{cases}$$

ここには、12の独立な式があり、直線104と直線105のローカル座標系106a、106bにおける直線の方程式を表す8つの定数 $x_1, y_1, x_2, y_2, a_1, b_1, a_2, b_2$ が含まれる。変数は16あり、このうち求めたいのは部品102と部品103の位置を示すパラメータ $c_1, s_1, c_2, s_2, \alpha_1, \beta_1, \alpha_2, \beta_2$ である。これらの値を求めるには、上記2次連立方程式から8つの定数 $x_1, y_1, x_2, y_2, a_1, b_1, a_2, b_2$ と部品102と部品103の位置を示すパラメータ $c_1, s_1, c_2, s_2, \alpha_1, \beta_1, \alpha_2, \beta_2$ 以外の変数を消去し、 $c_1, s_1, c_2, s_2, \alpha_1, \beta_1, \alpha_2, \beta_2$ の値を求めれば良い。このように変数を消去する方法としては、多項式イデアル(polynomial ideal)のグレブナー基底(Groebner basis)を求めるブッフバーガーアルゴリズム(Buchber 50

8

ger algorithm)が知られているので、この方法を用いて不要な変数を消去してから $c_1, s_1, c_2, s_2, \alpha_1, \beta_1, \alpha_2, \beta_2$ の値を求めてもよいし、上記2次連立方程式の定数を代入して直接解いてもよい。いずれにしても、式の数よりも変数の数が4多いことから、式として4自由度があることが分る。

【0029】この式はワールド座標系101において定義されており、今注目しているのが2つの部品の相対的位置関係であることに注意すれば、どちらか一方の部品の位置を固定しても構わないので、例えば部品102を固定するとして、 c_1, α_1, β_1 を定数とすると、式の数よりも変数が1つ多いことになり、相対的な自由度は1あることが分る。部品103の位置を算出するには、 $c_2, s_2, \alpha_2, \beta_2$ の値の内1つを定数として決めて(現在の値に固定して)、他の値を求めればよい。また一般に、もし拘束条件が実現できないような状況(例えば2つの直線が平行でかつ垂直である)で定義されていれば、連立方程式に解が存在しなくなるので、検知可能である。

【0030】このように、幾何拘束処理ライブラリは、与えられた拘束関係を代数的な式として表現しなおして、処理を行なう。このため、自由度の検出や、拘束の整合性のチェックなどが効率的に可能になるが、もとの形状にもどって、直線にそった並進の自由度が2つの部品の間に存在することなどを発見することは極めて困難である。

【0031】上述の各部品の部分形状の間で定義された一致関係、すなわち部分形状間の拘束関係をすべて満足するように、算出された部品間の相対的位置関係(アセンブリモデル)の一例を図5に示す。この図5に示す相対的位置関係は、自動的に計算された部品の変換マトリクスを、部品の形状データに作用させて得られた部品の位置を示している。この相対的位置関係は図3に示す表示装置83を用いて表示される。

【0032】この図5からも分かるように、上述のようにして求められたアセンブリモデルは、部品間の相対的位置関係を完全に決定するだけの拘束関係を一般的に有しているとは限らない。例えば図5に示すように、部品2と部品4との間で相対的な回転10を行っても、また、部品4と部品6の間で相対的に平行移動12を行っても、依然として図4に示す関係はすべて保たれている。すなわち図5に示すアセンブリモデルは、回転自由度10と、並進自由度12とを有している。

【0033】そこで、再び図1に戻り、ステップF4で部品の相対的位置関係を算出した後は、ステップF2に戻り、部品の相対的位置関係を規定する拘束関係を入力するかどうかをチェックする。そして拘束関係の入力が無い場合には、ステップF5に進み、作成されたアセンブリモデルに自由度があるかどうか判定される。この自由度があるかどうかを判定する機能は例えば上述の幾何拘束処理ライブラリに備えられている。

9

【0034】しかし、上記幾何拘束処理ライブラリは、自由度があるかどうかは判定するが、自由度があると判定した場合には、その自由度が回転自由度であるのか、または並進自由度であるのかは導出しない。更に、これらの2つの自由度は回転角や平行移動距離などのパラメータによって記述されるが、これらのパラメータの種類（例えば角度、距離等）と、これらのパラメータの基準（例えば、どの点とどの点の距離なのか、どちらの向きを+にとるか等）に関する情報は上記幾何拘束処理ライブラリによっては与えられない。

【0035】また上記幾何拘束処理ライブラリは、図5において、部品6を斜め上方に移動させようとしたときには、与えられた拘束を満足させながら移動させる、すなわち水平方向に移動させる機能は備えている。しかし、この機能は、並進のパラメータを陽に用いていない。

【0036】一方機構解析、障害物回避動作計画などの分野においては機構の自由度を規定するパラメータにより運動を記述する。すなわち図5の例においては、回転自由度10に対応する回転角と並進自由度12に対応する平行移動距離の2つのパラメータがこれに対応する。

【0037】本発明は上述のパラメータを自動的に算出するように構成されている。これらのパラメータを規定する部分形状について図6参照して説明する。

【0038】図6は、これらのパラメータを規定するための部分形状の例を示している。符号8a、8bは円筒面の中心軸と直交する方向ベクトルを表す直線である。これら直線8a、8bは円筒面に剛体接続されていると考える。同筒同士が同軸という拘束関係があれば上記直線8a、8b同士の角度を新たな拘束関係として付加することにより、この角度が回転自由度のパラメータとなる。従って、このような直線8a、8bは円筒の形状ないしは位置姿勢を表す要素であるので、本発明においては部分形状であると定義する。

【0039】また図6において符号9a、9bは、部品4、6上の頂点である。これらの頂点9a、9bは平面同士が一致するという拘束関係が既に定義されている平面の部分形状ではないが、平面上の幾何要素であり、幾何学的ないしは位相的に関係している。このため部品4の平面4cと部品6の平面6bが一致している拘束関係の下で、各々の平面上の同一直線上の頂点9a、9b間の距離を新たな拘束関係として付加することにより、この距離が並進自由度のパラメータとなる。

【0040】再び図1に戻り、ステップF5において、自由度があると判定された場合には、自由度の個数を減らすために部品の部分形状間に付加すべき拘束関係の候補を決定する（図1のステップF6参照）。そしてこの決定された拘束関係を、アセンブリモデルに付加する（図1のステップF7参照）。例えば図5に示すアセンブリモデルに、図6に示す直線8a、8bのなす角度、

10

頂点9a、9b間の距離を新たな拘束関係14、16として付加したときに記憶装置に記憶されている様子を図7に示す。

【0041】次にステップF7で新たな拘束関係を付加した後、自由度が減少したかどうかを例えば前述の幾何拘束処理ライブラリを用いてチェックする（図1のステップF8参照）。自由度が減少しなかったり、過剰拘束になる場合には、上記新たに付加した拘束関係を削除し（図1のステップF9参照）、ステップF6に戻り、付加すべき拘束関係の候補を新たに決定し上述のことを繰り返す。

【0042】ステップF8において、自由度が減少した場合には、ステップF7で付加した拘束関係をパラメータとして登録する（図1のステップF10参照）。その後ステップF5に戻り、自由度があるかどうかをチェックする。自由度が無い場合にアセンブリモデルの作成が終了する。なお上記登録したパラメータは機構解析や障害物回避動作計画に用いることができる。

【0043】なお、ステップF3で入力された拘束関係はアセンブリモデルを作成するための拘束関係であるのに対して、ステップF7で付加された拘束関係は自由度を減らすための拘束関係である。このため後者の拘束関係に属性を付加することにより前者の拘束関係と区別するようにしておく。

【0044】以下では、本発明の特徴であるステップF6の部分形状と関係の候補の決定の処理手順についてさらに細かく説明する。すなわち、図7における部分形状8a、8bとその拘束関係14および頂点9a、9bとその拘束関係16を、どのような手順で候補として選出すかについて説明する。図8は最も単純な処理手順のフローを表している。

【0045】まず、ステップF21で部分形状の組合わせが、既に列挙または順序付けされているか否かをチェックする。列挙または順序付けされている場合にはステップF25に進む。列挙または順序付けされていない場合はそれぞれの部品について部分形状のあらゆる候補を列挙する（ステップF22）。図4および図5の例では、部品2、部品4、部品6それぞれについて関係を少なくとも1種類は付けることのできる部分形状をすべて列挙する。列挙すべき部分形状としては、平面、球面、円筒面、直線、円弧、頂点などが典型的であり、この例においてはすべての形状要素が候補になる。自由曲面などをもつ形状の場合には、そのような面は候補から除外される場合が多い。候補として列挙すべきかどうかは、幾何拘束処理ライブラリが扱えるか否かで決まる。

【0046】次にステップF23においては、部品間で、幾何拘束処理ライブラリの扱うことが可能なあらゆる部分形状の組とそれらの部分形状間の拘束関係との組合せを列挙する。ただし、ここで列挙する拘束関係は角度、距離などの位置を示すパラメータが付随するものに

10

20

30

40

50

限られる。例えば、平面と平面の一致の関係を付加して、自由度を減少させることは可能であるが、このような関係は、ユーザーがアセンブリ作成の際に意図していない拘束を付加するものであり、本来可能な運動を不可能にしてしまうからである。

【0047】一方、距離や角度の拘束は、そのパラメータである距離の値や角度の値を特定の値の決定した場合には、それに対応する特定の機構の（すなわちアセンブリの）位置姿勢を表すが、パラメータの値を変化させることで、ユーザーの意図した運動を実現することが可能となる。すなわち、ステップF23において列挙される関係は、平面と平面の距離、平面と頂点の距離、円筒と円筒の距離、頂点と頂点の距離、頂点と平面の距離、直線と直線の距離、平面と平面の角度、直線と直線の角度などが例として考えられる。ステップF24ではこれらの関係について列挙された順番で順序付けし、ステップF25では最初の候補を出力する。2回目以降の候補決定の際には、すなわち図1においてステップF7の実行の結果ステップF8、F9を介してステップF6に戻ってきた場合には、ステップF21の判定処理を介してステップF25に直接飛び、順次2番目以降の関係を候補として出力する。これらの関係の候補は図1のステップ*

*F7において試験的に付加され、自由度が減少すればその拘束関係に属性をつけて残すことにより機構パラメータとして採用される。

【0048】しかし、この方法ではチェックすべき拘束関係の候補の数が一般には膨大になり、効率が低い。このため予めリストアップされた候補を優先することが考えられる。この予めリストアップされた候補を優先する方法は、この問題を解決し、図1のステップF6を効率化することを可能にする。そのために、すでにアセンブリを定義するためにユーザーにより入力された関係（図4においては3a、3b、5a、5b）は、多くの場合機構の関節などに関連することに着目する。すなわち、このようにアセンブリモデル作成の際に入力された関係のタイプごとに、機構パラメータとなる可能性のある関係を表の形でデータベース化しておき、図8においてすべての関係の組合わせを列挙する前に、これら表の形のデータベースに格納されている関係を優先的にステップF6、F7に適用する。以下の表はそのようなデータベースとなるテーブルの一例を示している。

【0049】

【表1】

部分形状(1)	部分形状(2)	拘束関係	候補となる拘束関係
平面	平面	一致	それぞれの平面上の同一直線上の頂点間の距離
平面	平面	平行	平面間の距離
直線	直線	一致	それぞれの直線上の頂点間の距離
直線	直線	一致	これら直線に接線する幾何要素（平面など）間の角度
直線	直線	平行	直線間の距離
円筒	円筒	同軸	軸に直行する直線同士との角度
円筒	円筒	平行	軸間の距離
直線	頂点	一致	直線上の頂点との距離
頂点	頂点	一致	これら頂点に接線する幾何要素（平面、頂点など）間の角度

例えば図4に示す関係5aは平面4cと平面6aの一致の関係であるので、上記表の1行目にあるようにこれら平面4aと平面6aの同一直線上の頂点の組みである、図6に示す頂点9aと9bが膨大な組合わせをチェックすることなしに候補として選ばれる。実際の機構においては、回転関節や並進スライドジョイントなどは何らかの摺動部を持つことが多く、かつこのような摺動面はアセンブリ入力の際にユーザーにより入力されているため、現実の機構の摺動部に即した形で関係が付加され、機構パラメータが定義されるメリットもある。同様に図4に示す円筒2bと円筒4bの同軸関係3bは表の6行目に一致し、図7に示す関係14が候補として選ばれる。このようなデータベースないしは表を参照する機能

を加えた場合の処理手順は図9に示すフローのようになる。この図9に示すフローは図8に示すフローにステップF31とF32が付加された構成となる。

【0050】さらに、本発明により自動的に付加される拘束関係がユーザーからも直観的となるように処理手順を改善する方法を図10および図11を参照して説明する。図10は、2つの三角柱61、62が平面と平面の一致の関係を軸穴対偶に相当する円筒と円筒の同軸関係とによりアセンブリモデルとして定義されたことを示す図である。図10(a)はその斜視図であり図10

(b)はその平面図である。

【0051】上記表のデータベースによれば、このアセンブリの機構パラメータとなる関係としては「平面と平

13

面の一致」という関係から「頂点64と頂点65の距離」が候補として考えられる。また同様に「円筒と円筒が同軸」という関係から「直線66と直線67の角度」も候補として考えられる。機構パラメータとしては、どちらも自由度を正しく相殺し、距離や角度のパラメータによって機構の運動を制御できることから、正しい拘束であると言える。

【0052】しかし、「直線66と直線67の角度」については、実際の機構において軸63にモータをつけるなどして角度のパラメータを実際に制御できるのに対して、「頂点64と頂点65の距離」は新たな伸縮機構を備えたリンクを加えるなどしないと機構の制御が難しい。このような理由から、回転の角度をパラメータとして選択する方が、より実際の人間の感覚に近いことが分かる。

【0053】これを実際の処理手順に反映させると、図11に示すようになる。候補として選択された部分形状とその関係について、図11のステップF41において、そのようなパラメータ（すなわち並進あるいは回転）の自由があるかどうかをチェックするのである。図10に示す例では、「頂点64と頂点65の距離」は距離の関係であり並進自由度に対応する。しかし、部品61を固定してこの距離を増加する状況を考えて、69に示されるような位置に部品62が移動することになり、頂点64と頂点65を結ぶ直線68上は移動しないことが分かる。一方、「直線66と直線67の角度」については、その値を増加させて位置69まで部品62を移動させても、回転中心は移動していないことが分かる。このような比較により、この機構においては、「直線66と直線67の角度」に対応する回転が本質的であり、「頂点64と頂点65の距離」はこの自由度を別の距離というパラメータにより制御することが可能であることを示しているに過ぎないことが分かる。このように、パラメータに対応する関係を比較し、より人間の直感に近いものを優先させれば、よりユーザーにとって使いやすいものになる。

【0054】以上では、機構パラメータとそれに対応する関係をどのように決定するかに重点をおいて説明してきた。機構解析や障害物回避動作計画などのアプリケーションにこのようなデータを送ることにより、アセンブリモデルのデータから直接機構解析や障害物回避動作計画などのアプリケーションを実行することが可能になる。また、関節パラメータの変化から機構の動きを求めるような簡単な機構解析は、以下のようにそのまま実行することも可能である。すなわち、以上のステップで決定された機構パラメータに対するある時刻における値が与えられると、図1のステップF4で実行するのと同様に幾何拘束処理ライブラリによって個々の部品の3次元ないしは2次元空間における位置・姿勢を決定し、これを時刻の刻み幅にあわせて順次変化させることで、機構

14

としての動きをシミュレーションとして確認するなどの作業を行うことが可能になる。

【0055】また上記実施の形態においては、図1に示すステップF4からステップF10までの処理手順は、プログラムとして記録媒体（例えば、CD-ROM、光磁気ディスク、またはDVD（Digital Versatile Disk）等の光ディスクや、フロッピーディスク、メモリカード等）に記録される。

【0056】したがって、図8に示すステップF21～F25までの処理手順、図9に示すステップF21～F25およびステップF31、F32の処理手順、または図11に示すステップF21～F25、ステップF31、F32、およびステップF41の処理手順は各々図1のステップF6として記録媒体に記録されることになる。

【0057】この記録は次のようにして行われる。まず図3に示すようにコンピュータ80を起動し、記録媒体を記憶装置（図3においてはFDドライブ87またはCD-ROMドライブ89）にセットする。続いて入力手段（例えばキーボード）81を用いて、例えば上記実施の形態の場合はステップF4からステップF10までの処理手順をプログラムとして順次入力する。するとこの入力されたプログラムはコンピュータ80のCPU（図示せず）によって、記録媒体に書込まれる。この書込む際には表示装置86を利用すると便利である。

【0058】このような記録媒体に記録されたアセンブリモデル作成処理手順を実行する場合について説明する。まずアセンブリモデル処理手順をプログラムとして記録された記録媒体を、読取り装置（図3ではFDドライブ87またはCD-ROMドライブ89）にセットする。続いて上記読取り装置に接続されたコンピュータ80のCPUによって上記記録媒体から上記プログラムが読出されて順次実行される。

【0059】

【発明の効果】以上説明したように本発明のアセンブリモデル作成方法によれば、形状特徴間の拘束関係を入力することにより作成されたアセンブリのモデルに、機構解析や障害物回避動作計画に利用するために必要となる付加的な幾何拘束関係とそれに付随する機構パラメータが自動的に設定され、そのまま、機構解析や障害物回避動作計画を実行することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明によるアセンブリモデル作成方法の一実施の形態の処理手順を示すフローチャート。

【図2】アセンブリモデルの構成部品を示す斜視図。

【図3】本発明によるアセンブリモデル作成方法が使用されるコンピュータシステムの一構成例を示すブロック図。

【図4】アセンブリモデルを作成する際に各部品の部分形状と、これらの部分形状の間に定義された拘束関係と

15

が記憶装置に記録されたときの様子を示す模式図。

【図5】各部品の部分形状間に拘束関係が定義されたときに、どの自由度が残っているかを説明する斜視図。

【図6】自由度を相殺するために導入される部分形状の例を説明する各部品の斜視図。

【図7】各部品の部分形状と、これらの部分形状の間の拘束関係と、自由度を相殺するために導入された拘束関係とが記憶装置に記録されたときの様子を示す模式図。

【図8】部分形状と拘束関係の候補を決定する処理の第1の具体例を示すフローチャート。

【図9】部分形状と拘束関係の候補を決定する処理の第2の具体例を示すフローチャート。

【図10】ユーザーにとって直感的な関係を優先する処理手順を説明する説明図。

【図11】ユーザーにとって直感的な関係を優先する処理を考慮したときの部分形状と拘束関係の候補を決定する処理手順を示すフローチャート。

【図12】幾何拘束処理ライブラリの処理内容を示す線図。

【符号の説明】

2 部品

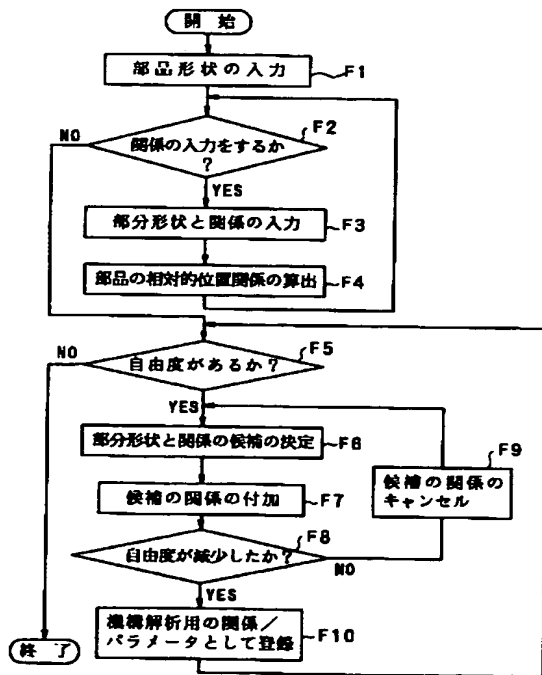
20

*

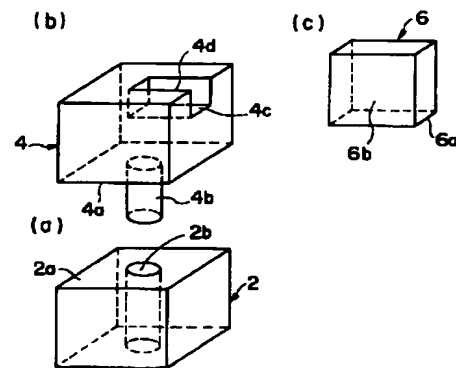
16

- * 2 a 平面
- 2 b 円筒
- 3 a 拘束関係
- 3 b 拘束関係
- 4 部品
- 4 a 平面
- 4 b 円筒
- 4 c 平面
- 4 d 平面
- 10 5 a 拘束関係
- 5 b 拘束関係
- 6 部品
- 6 a 平面
- 6 b 平面
- 8 a 部分形状 (直線)
- 8 b 部分形状 (直線)
- 9 a 頂点
- 9 b 頂点
- 10 回転自由度
- 12 並進自由度

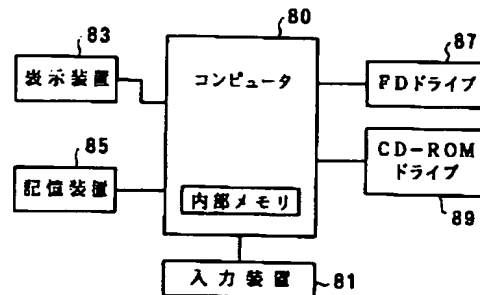
【図1】



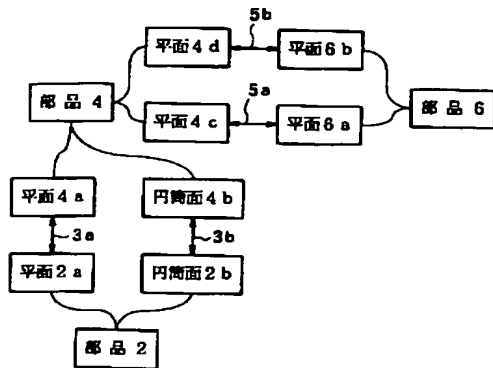
【図2】



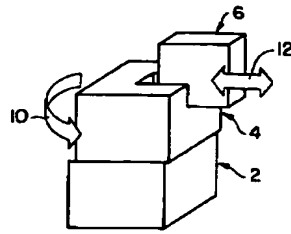
【図3】



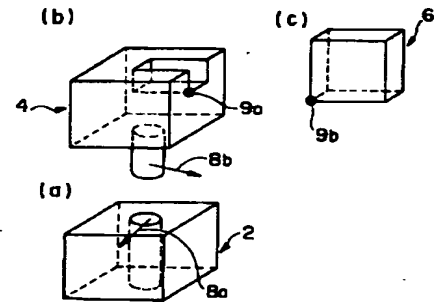
【図4】



【図5】

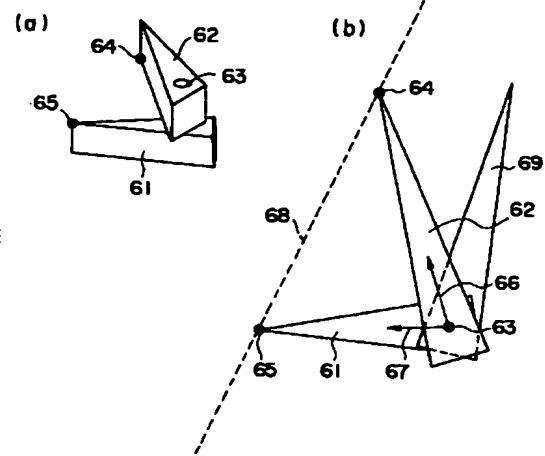
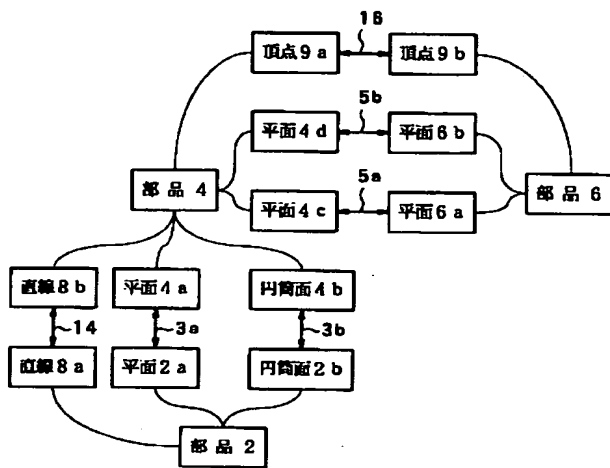


【図6】

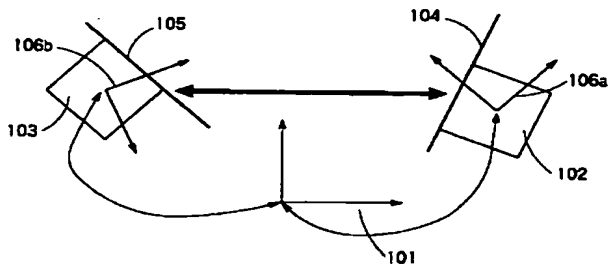


【図10】

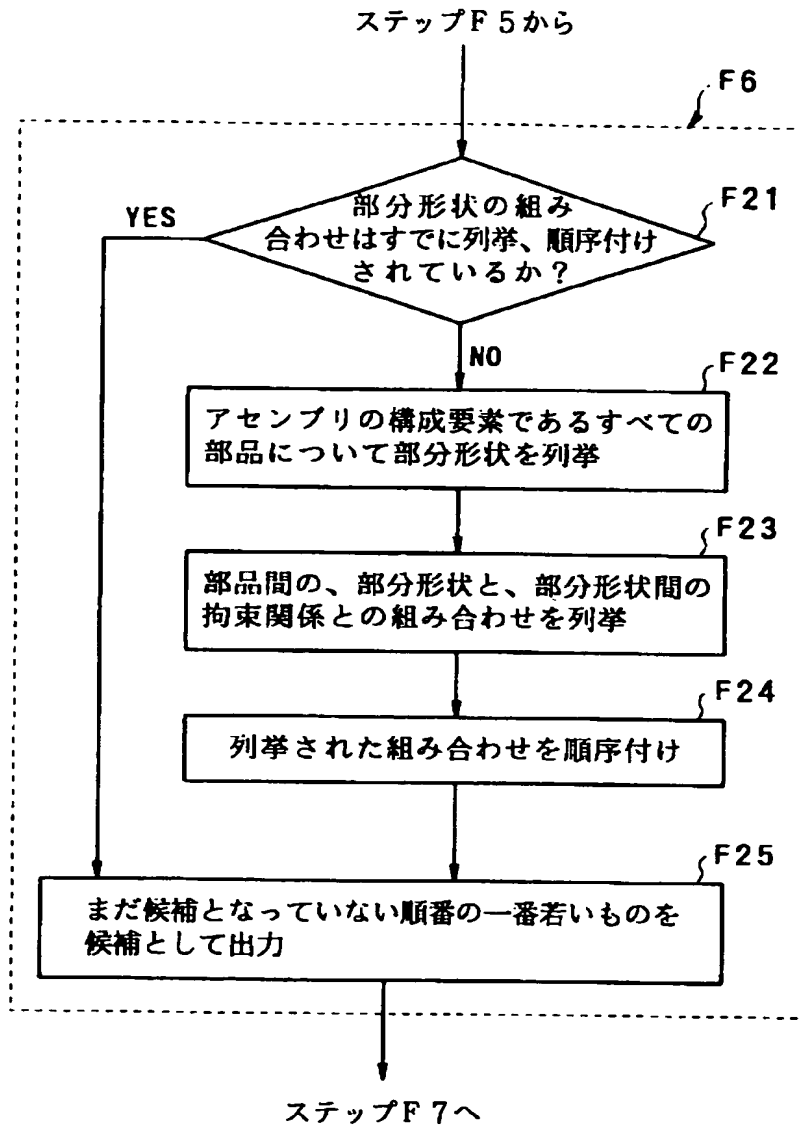
【図7】



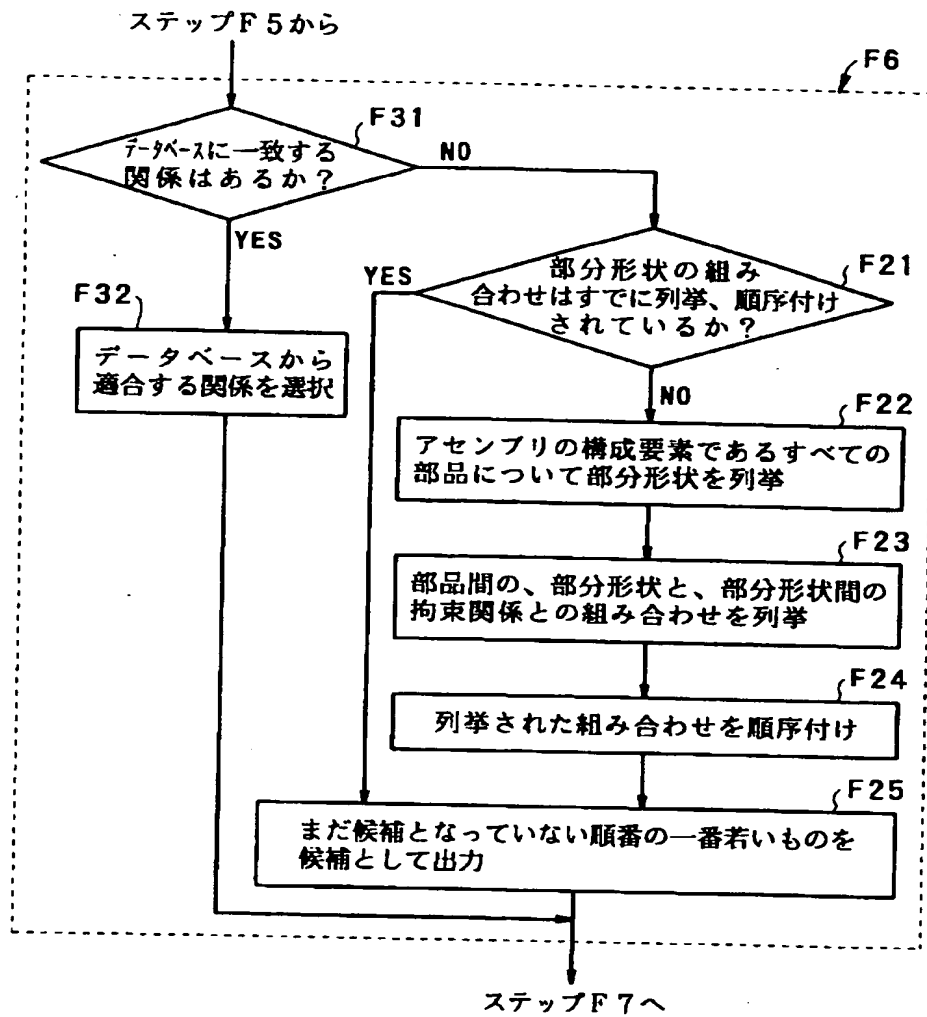
【図12】



【図8】



【図9】



【図11】

